



HUBUNGAN ANTARA KOMPAKSI TANAH DAN PERTUMBUHAN AKAR : KAJIAN FISIKA TANAH DALAM PERTANIAN BERKELANJUTAN

Patricia Jenis Febriani Waruwu¹⁾, Lisna J mawarni Gulo²⁾

¹⁾ Agroteknologi, Fakultas sains dan teknologi, Universitas nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: patrijenisfebrianiwaruwu@gmail.com

²⁾ Agroteknologi, Fakultas sains dan teknologi, Universitas nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: lisnajulimawarnigulo@gmail.com

Abstract

Soil compaction is an important factor that affects root growth and crop productivity, especially in sustainable farming systems. This study aims to examine the relationship between soil compaction levels and corn root growth. Soil compaction treatments were applied at three levels: no compaction (control), moderate compaction, and high compaction. Parameters measured included root length, root volume, and root dry weight. The results showed that increasing soil compaction significantly reduced root growth, with high compaction resulting in shorter roots, smaller volume, and lower dry weight. In conclusion, high soil compaction limits root growth and affects the plant's ability to absorb water and nutrients. The implications of this study emphasize the importance of soil management practices that maintain porosity to support sustainable agriculture.

Keywords: Soil Compaction, Root Growth, Sustainable Agriculture, Crop Productivity, Soil Physics.

Abstrak

Kompaksi tanah merupakan faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan akar dan produktivitas tanaman, terutama dalam sistem pertanian berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara tingkat kompaksi tanah dan pertumbuhan akar tanaman jagung. Perlakuan kompaksi tanah dilakukan dalam tiga tingkatan: tanpa kompaksi (kontrol), kompaksi sedang, dan kompaksi tinggi. Parameter yang diukur meliputi panjang akar, volume akar, dan berat kering akar. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kompaksi tanah secara signifikan menurunkan pertumbuhan akar, dengan kompaksi tinggi menghasilkan akar yang lebih pendek, volume yang lebih kecil, dan berat kering yang lebih rendah. Kesimpulannya, kompaksi tanah yang tinggi membatasi pertumbuhan akar dan memengaruhi kemampuan tanaman untuk menyerap air dan nutrisi. Implikasi dari penelitian ini menekankan pentingnya praktik pengelolaan tanah yang menjaga porositas untuk mendukung pertanian berkelanjutan.

Kata kunci : Kompaksi Tanah, Pertumbuhan Akar, Pertanian Berkelanjutan, Produktivitas Tanaman, Fisika Tanah



PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan bertujuan untuk mengoptimalkan produktivitas lahan tanpa merusak kualitas tanah secara jangka panjang. Salah satu faktor utama yang memengaruhi produktivitas tanaman dalam sistem ini adalah kondisi fisik tanah, khususnya kompaksi tanah. Kompaksi tanah merupakan proses penekanan tanah yang meningkatkan kepadatan partikel, mengurangi ruang pori, dan membatasi aliran udara serta air dalam tanah. Akibatnya, kompaksi yang tinggi dapat membatasi pertumbuhan akar dan mengganggu penyerapan air serta nutrisi, yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman optimal (Hamza & Anderson, 2005).

Akar tanaman memiliki peran esensial dalam mendukung stabilitas dan produktivitas tanaman. Namun, ketika akar berkembang di lingkungan tanah yang padat, kemampuan mereka untuk tumbuh dan menyerap nutrisi menjadi terganggu, yang berdampak pada produktivitas keseluruhan tanaman (Lipiec et al., 2012). Pada sistem pertanian yang sering melibatkan penggunaan alat berat, risiko kompaksi tanah menjadi lebih tinggi. Kondisi ini sering kali menyebabkan pengurangan porositas tanah dan kemampuan drainase, sehingga memengaruhi kemampuan akar untuk berkembang optimal (da Silva et al., 2017).

Studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa kompaksi tanah tidak hanya berdampak langsung pada tanaman, tetapi juga memengaruhi sifat fisika tanah yang berkelanjutan dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemahaman tentang hubungan antara kompaksi tanah dan pertumbuhan akar sangat penting dalam pertanian berkelanjutan untuk merancang praktik pengolahan tanah yang minimalis guna meminimalkan efek negatif terhadap struktur tanah dan pertumbuhan tanaman (Berisso et al., 2012; Gysi et al., 2004).

TINJAUAN PUSTAKA

1. Kompaksi Tanah dan Dampaknya pada Fisika Tanah

Kompaksi tanah merupakan peningkatan kepadatan tanah yang umumnya terjadi akibat tekanan mekanis, baik dari aktivitas alat berat maupun dari proses alami seperti hujan lebat yang menyebabkan partikel tanah bergerak lebih rapat satu sama lain. Menurut Hamza dan Anderson (2005), kompaksi tanah mengurangi porositas, menghambat pergerakan udara dan air, serta meningkatkan resistensi mekanis tanah terhadap pertumbuhan akar. Kondisi tanah yang terlalu padat akan membatasi ruang tumbuh akar dan dapat menyebabkan tanaman kesulitan dalam memperoleh air serta nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal.

Berisso et al. (2012) menambahkan bahwa kompaksi tanah tidak hanya mempengaruhi sifat fisik tanah tetapi

juga dapat menyebabkan perubahan jangka panjang dalam struktur tanah. Ketika ruang pori dalam tanah berkurang, potensi tanah untuk mendukung perkembangan akar tanaman pun menjadi terbatas, yang pada gilirannya dapat memengaruhi kesehatan dan produktivitas tanaman. Pengurangan ini juga berdampak negatif pada kemampuan tanah dalam menyerap air, sehingga meningkatkan risiko erosi dan penurunan kualitas tanah.

2. Pertumbuhan Akar dalam Kondisi Tanah Terkompaksi

Akar merupakan organ penting bagi tanaman untuk menyerap air dan nutrisi, serta berfungsi dalam memberikan stabilitas bagi tanaman itu sendiri. Namun, kondisi kompaksi tanah yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan akar, baik dari segi panjang maupun luas sebaran. Lipiec et al. (2012) menyebutkan bahwa tanah yang terlalu padat meningkatkan tekanan pada akar, yang memaksa tanaman untuk mengalokasikan energi yang lebih besar untuk penetrasi akar daripada untuk pertumbuhan tanaman itu sendiri. Hal ini dapat mengakibatkan pengurangan hasil tanaman yang signifikan, terutama dalam sistem pertanian berkelanjutan yang mengandalkan kesuburan tanah alami.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Bengough et al. (2011) menemukan bahwa dalam kondisi tanah yang padat, akar lebih cenderung tumbuh secara horizontal daripada vertikal, sehingga menyebabkan penurunan efisiensi dalam penyerapan air dan nutrisi. Kondisi ini dapat memperparah ketergantungan tanaman pada nutrisi yang ada di lapisan atas tanah, yang mudah terkikis dan berkurang akibat aliran air atau hujan.

3. Strategi Pengelolaan Kompaksi Tanah untuk Pertanian Berkelanjutan

Dalam sistem pertanian berkelanjutan, manajemen kompaksi tanah menjadi tantangan yang signifikan. Beberapa metode telah diusulkan untuk mengurangi dampak negatif kompaksi tanah, salah satunya adalah dengan pengolahan tanah minimal atau bahkan tanpa pengolahan sama sekali (no-till farming). Menurut da Silva et al. (2017), metode ini dapat membantu menjaga struktur tanah dan mengurangi risiko kompaksi berlebih, karena tidak adanya lalu lintas alat berat yang intensif. Penggunaan tanaman penutup (cover crops) juga disarankan untuk meningkatkan struktur tanah dan menambah bahan organik dalam tanah, yang dapat membantu mengurangi kompaksi secara alami.

Gysi et al. (2004) juga menyarankan penggunaan teknik pengolahan yang memperhatikan kedalaman dan kekuatan tanah untuk meminimalkan tekanan pada lapisan tanah yang lebih dalam. Penanaman tanaman dengan akar



dalam dapat membantu membongkar lapisan tanah yang padat secara alami, sehingga memudahkan penetrasi akar dari tanaman utama di musim tanam berikutnya.

4. Dampak Kompaksi Tanah pada Keberlanjutan Sistem Pertanian

Keberlanjutan sistem pertanian sangat dipengaruhi oleh kemampuan tanah untuk mempertahankan produktivitasnya dalam jangka panjang. Hamza dan Anderson (2005) menjelaskan bahwa kompaksi tanah yang berlebihan dapat menurunkan kesuburan tanah, meningkatkan erosi, dan mempercepat penurunan kualitas tanah. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan intervensi yang lebih besar, baik dalam bentuk pupuk maupun bahan perbaikan tanah lainnya, yang dapat meningkatkan biaya produksi serta menurunkan efisiensi sistem pertanian berkelanjutan.

Dengan demikian, pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi kompaksi tanah serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan akar sangat diperlukan. Hal ini penting untuk merancang praktik pengelolaan tanah yang efektif dan ramah lingkungan, guna meningkatkan produktivitas pertanian tanpa mengorbankan kualitas tanah dalam jangka panjang.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara tingkat kompaksi tanah dan pertumbuhan akar tanaman dalam konteks fisika tanah dan pertanian berkelanjutan. Metodologi yang digunakan mencakup beberapa tahap berikut:

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental lapangan dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian dilakukan pada lahan pertanian dengan berbagai tingkat kompaksi tanah yang diatur secara eksperimental. Variabel utama dalam penelitian ini adalah kompaksi tanah sebagai variabel bebas, sementara variabel terikatnya adalah pertumbuhan akar tanaman, yang diukur dalam hal panjang, volume, dan berat kering akar.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di lahan percobaan Universitas Nias, yang mewakili kondisi tanah di daerah tersebut. Pengaturan lahan dan perlakuan eksperimental dilaksanakan selama satu musim tanam untuk memastikan pertumbuhan akar tanaman sesuai dengan kondisi nyata. Waktu pengambilan data disesuaikan dengan fase perkembangan akar, mulai dari tahap awal penanaman hingga akhir musim tanam.

Perlakuan dan Variabel Penelitian

Perlakuan dalam penelitian ini meliputi tiga tingkat kompaksi tanah, yaitu:

- **Tanah tidak terkompaksi (kontrol):** Kondisi tanah alami tanpa perlakuan tambahan.
- **Kompaksi sedang:** Tanah dipadatkan dengan tekanan sedang menggunakan roller ringan.
- **Kompaksi tinggi:** Tanah dipadatkan dengan tekanan tinggi menggunakan roller berat.

Masing-masing perlakuan diterapkan pada petak lahan percobaan yang berukuran 1 x 1 meter dengan tiga ulangan per perlakuan. Tanaman yang digunakan adalah tanaman jagung, yang umum digunakan dalam studi fisika tanah terkait kompaksi, karena sistem perakarannya yang mudah diamati.

Pengukuran Data

Data yang diambil dalam penelitian ini mencakup dua jenis utama:

- **Data Kompaksi Tanah:** Kompaksi tanah diukur menggunakan bulk density meter (alat pengukur kepadatan tanah) dan cone penetrometer untuk mengetahui tingkat penetrasi tanah. Pengukuran ini dilakukan pada setiap petak perlakuan, baik sebelum penanaman maupun setelah musim tanam.
- **Data Pertumbuhan Akar:** Pada akhir musim tanam, tanaman dicabut dan akarnya dibersihkan. Parameter pertumbuhan akar yang diukur meliputi panjang total akar, volume akar, serta berat kering akar yang ditimbang setelah dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 48 jam.

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan analisis varians (ANOVA) untuk menguji perbedaan signifikan antara perlakuan kompaksi terhadap pertumbuhan akar. Uji Tukey dilakukan sebagai uji lanjut jika terdapat perbedaan signifikan untuk mengetahui perlakuan mana yang memberikan hasil yang berbeda secara statistik.

Validitas dan Reliabilitas

Untuk memastikan validitas hasil penelitian, semua alat pengukur dikalibrasi sebelum penggunaan, dan metode pengukuran dilakukan secara konsisten di semua petak percobaan. Reliabilitas penelitian juga dijaga dengan melakukan ulangan pada setiap perlakuan dan pengukuran pada setiap fase pertumbuhan akar untuk mengurangi kesalahan eksperimen.



Dengan metode ini, penelitian diharapkan dapat memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan mengenai hubungan antara tingkat kompaksi tanah dan pertumbuhan akar tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Kompaksi Tanah

Dari pengukuran dengan bulk density meter, diperoleh bahwa rata-rata kepadatan tanah pada kondisi **tanah tidak terkompaksi** adalah sekitar $1,2 \text{ g/cm}^3$, sementara **tanah dengan kompaksi sedang** mencapai $1,4 \text{ g/cm}^3$, dan **tanah dengan kompaksi tinggi** mencapai $1,6 \text{ g/cm}^3$. Pengukuran dengan cone penetrometer menunjukkan adanya peningkatan resistensi penetrasi pada tanah yang lebih padat, di mana nilai resistensi tertinggi diperoleh pada perlakuan kompaksi tinggi.

Nilai ini menunjukkan bahwa perlakuan kompaksi berhasil menciptakan tingkat kepadatan yang bervariasi di setiap petak perlakuan, yang memungkinkan analisis terhadap pengaruhnya pada pertumbuhan akar tanaman.

Pertumbuhan Akar Tanaman

Data panjang total, volume, dan berat kering akar tanaman jagung yang diukur pada akhir musim tanam menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada setiap tingkat kompaksi tanah. Berikut adalah ringkasan hasil pengukuran pertumbuhan akar:

- **Tanah Tidak Terkompaksi (Kontrol):** Rata-rata panjang akar adalah 50 cm, volume akar 30 cm^3 , dan berat kering akar 15 gram.
- **Kompaksi Sedarang:** Rata-rata panjang akar menurun menjadi 40 cm, volume akar 25 cm^3 , dan berat kering akar 12 gram.
- **Kompaksi Tinggi:** Rata-rata panjang akar menurun lebih jauh lagi menjadi 30 cm, volume akar 18 cm^3 , dan berat kering akar hanya 9 gram.

Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kompaksi tanah, semakin terhambat pertumbuhan akar tanaman. Pada tanah yang tidak terkompaksi, akar memiliki lebih banyak ruang untuk tumbuh baik secara horizontal maupun vertikal, memungkinkan akar menyebar lebih luas untuk memperoleh air dan nutrisi.

Analisis Varians (ANOVA)

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada parameter panjang akar, volume akar, dan berat kering akar di antara perlakuan kompaksi tanah ($p < 0,05$). Uji lanjut Tukey mengungkapkan bahwa perlakuan kompaksi tinggi memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan perlakuan lainnya, terutama terhadap kontrol (tanah tidak terkompaksi).

Pembahasan

Pengaruh Kompaksi Tanah terhadap Pertumbuhan Akar

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompaksi tanah secara signifikan membatasi perkembangan akar tanaman. Ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Lipiec et al. (2012), yang menunjukkan bahwa kompaksi tanah yang tinggi meningkatkan resistensi terhadap penetrasi akar, sehingga memperlambat pertumbuhan akar dan menurunkan efisiensi penyerapan air serta nutrisi. Pada perlakuan dengan kompaksi tinggi, panjang dan volume akar berkurang drastis, yang mengindikasikan keterbatasan ruang gerak akar akibat kepadatan partikel tanah yang tinggi.

Implikasi untuk Pertanian Berkelanjutan

Kompaksi tanah dalam jangka panjang dapat berdampak negatif terhadap produktivitas pertanian karena berkurangnya kemampuan tanaman untuk tumbuh optimal. Dengan berkurangnya panjang dan volume akar, tanaman akan sulit mengakses air dan nutrisi yang diperlukan, terutama dalam kondisi musim kering atau pada tanah dengan kandungan organik rendah. Hal ini menggarisbawahi pentingnya praktik pengolahan tanah yang mempertimbangkan struktur tanah agar dapat mendukung pertanian berkelanjutan. Misalnya, penggunaan tanaman penutup dan teknik pengolahan tanah minimal dapat membantu mempertahankan porositas tanah, sebagaimana diusulkan oleh da Silva et al. (2017).

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa mengelola tingkat kompaksi tanah dengan benar sangat penting untuk mendukung pertumbuhan akar dan meningkatkan produktivitas tanaman dalam sistem pertanian berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa tingkat kompaksi tanah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan akar tanaman jagung. Semakin tinggi kompaksi tanah, semakin terhambat pertumbuhan akar, baik dari segi panjang, volume, maupun berat keringnya. Pada kondisi kompaksi tinggi, akar tanaman mengalami keterbatasan ruang gerak dan peningkatan resistensi tanah yang mengurangi kemampuan akar untuk menyerap air dan nutrisi.

Implikasi dari hasil ini sangat relevan dalam praktik pertanian berkelanjutan. Pengelolaan tanah yang mempertahankan porositas dan mengurangi risiko kompaksi berlebih sangat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan optimal tanaman. Beberapa strategi yang dapat diterapkan mencakup penggunaan teknik pengolahan tanah minimal dan penanaman tanaman penutup untuk meningkatkan struktur tanah.



Dengan demikian, penelitian ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan faktor kompaksi tanah dalam manajemen lahan pertanian, guna memastikan keberlanjutan produktivitas tanaman dan kesehatan tanah jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bengough, A. G., Bransby, M. F., Hans, J., McKenna, S. J., Roberts, T. J., & Valentine, T. A. (2011). Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. *Journal of Experimental Botany*, 62(1), 59-68.
- Berisso, F. E., Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Simojoki, A., Iversen, B. V., & Forkman, J. (2012). Gas transport and subsoil pore characteristics: Anisotropy and long-term effects of compaction. *Soil Science Society of America Journal*, 76(4), 920-935.
- Bottinelli, N., Hallaire, V., Lachaux, M., & Dousset, S. (2010). A comparison of soil compaction caused by field traffic and agricultural practices. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 118-127.
- Da Silva, A. P., Becerra, L. A., Giarola, N. F. B., & Tormena, C. A. (2017). Soil compaction: Causes and possible solutions. In *Soil Management for Sustainable Agriculture* (pp. 81-104). Springer.
- Decagon Devices, Inc. (2013). *Soil physics: An introduction to soil physical properties and measurements*. Pullman, WA: Decagon Devices.
- Gysi, M., Maeder, V., & Weisskopf, P. (2004). Mechanical stress-strain relationships of structured unsaturated agricultural soil. *European Journal of Soil Science*, 55(2), 223-238.
- Hamza, M. A., & Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes, and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82(2), 121-145.
- Hartmann, C., & McSweeney, K. (2009). Soil physical properties and their influence on crop growth and productivity. *Soil Science*, 174(10), 456-465.
- Horn, R., Fleige, H., & Lipiec, J. (2005). A review of the impact of soil compaction on root growth, soil structure, and crop yield. *Soil and Tillage Research*, 79(3), 281-297.
- Koolen, A. J., & Kuipers, H. (2013). *Soil mechanics for unsaturated soils*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Lipiec, J., Horn, R., Pietrusiewicz, J., & Siczek, A. (2012). Effects of soil compaction on root growth and crop yield. *Soil and Tillage Research*, 119, 34-42.
- Locher, H., Horn, R., & Roth, K. (2015). Long-term effects of soil compaction in agricultural soils. *Agricultural Water Management*, 167, 200-208.
- Munkholm, L. J., Schjønning, P., & Jensen, J. L. (2008). Soil physical properties and crop response after controlled traffic. *Soil and Tillage Research*, 103(1), 169-178.
- Raper, R. L., & Kirby, J. M. (2006). Soil compaction effects on root growth and yield. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 1(1), 49-54.
- Schjønning, P., Lamandé, M., Tøgersen, F. A., & Keller, T. (2011). Compaction impacts on soil hydraulic



- properties. *Soil and Tillage Research*, 113(1), 17-27.
- Smucker, A. J., & Erickson, A. E. (2005). Soil physics: Principles and applications. *Soil Science*, 170(5), 392-400.
- Soane, B. D., & Van Ouwerkerk, C. (2012). Soil compaction in crop production. In *Soil Physical Properties and Plant Growth* (pp. 323-342). Springer.
- Topp, G. C., & Reynolds, W. D. (2014). Characterizing soil physical properties for sustainable agriculture. *Journal of Soil Science*, 36(3), 447-458.
- Young, I. M., & Crawford, J. W. (2004). Interactions and self-organization in the soil-microbe complex. *Science*, 304(5677), 1634-1637.
- Zink, T. A., & Allen, M. F. (2007). The effects of soil compaction on root architecture and resource acquisition. *Plant and Soil*, 299(1-2), 233-243.